



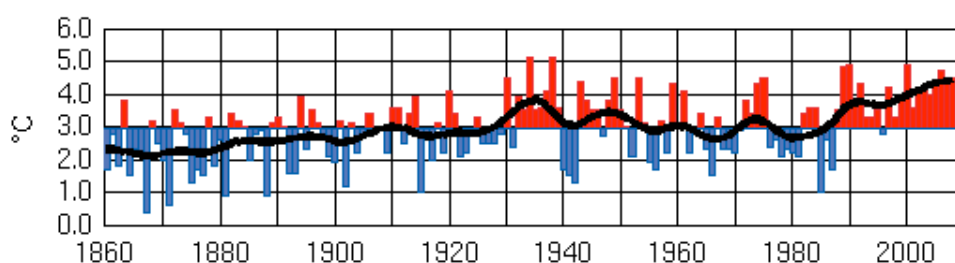
Elisabet Lewan, Jenny Kreuger & Nicholas Jarvis

## Miljöövervakning av pesticider – rapport om klimatförändringens tänkbara effekter på pesticidförluster från jordbruksmark

Rapport till Naturvårdsverket  
Överenskommelse 222 0843



Uppsala 2009



(SMHI, 2009a)



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>INLEDNING.....</b>	<b>3</b>
<b>FAKTORER OCH MÖJLIGA EFFEKTER .....</b>	<b>4</b>
EFFEKTER AV FÖRÄNDRINGAR I NEDERBÖRD OCH TEMPERATUR .....	4
EFFEKTER AV FÖRÄNDRADE SPRIDNINGSTIDPUNKTER AV BEKÄMPNINGSMEDEL .....	6
EFFEKTER AV ÄNDRAD MARKANVÄNDNING, FÖRÄNDRADE VÄXTFÖLJDER OCH SKADETRYCK, OCH INTRODUKTION AV NYA GRÖDOR. ....	6
<b>MILJÖÖVERVAKNING – IDAG OCH IMORGON .....</b>	<b>8</b>
<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>9</b>
<b>REFERENSER .....</b>	<b>9</b>



## INLEDNING

Klimatförändringen kommer, enligt aktuella prognoser, från Rossby Center (SMHI) att resultera i ett varmare och mer nederbördsrikt klimat i viktiga svenska jordbruksregioner (Rummukainen et al., 2005), exempel i **Figur 1 och 2**. Statistisk analys av nederbörds- och avrinningsmätningar från 1900-2002 tyder på systematiskt högre avrinning trots mildare väder (bättre avdunstningsförhållanden) under det senaste decenniet (Lindström & Alexandersson, 2004), särskilt i sydvästra Sverige. Förändringarna i klimatet kan komma att medföra ökad risk för diffusa förluster av bekämpningsmedel på grund av:

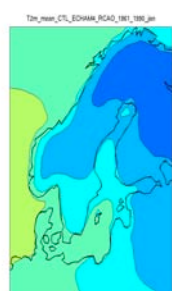
- (1) förändringar i nederbörden (ökad intensitet och mängd) och temperaturen,
- (2) förändrade spridningstidpunkter av bekämpningsmedel,
- (3) ändrad markanvändning, förändrade växtföljder och introduktion av nya grödor,
- (4) ökat behov av bekämpning pga förändrad ogräsflora och ökat tryck av skadegörare.

I denna rapport diskuteras dessa direkt- och indirekt klimatrelaterade faktorer och deras förväntade effekter relaterat till behovet av utveckling inom aktuella och framtida miljöövervakningsprogram för pesticider. Underlaget är baserat på aktuell vetenskaplig forskning rörande klimatet och de faktorer som styr transport och nedbrytning av pesticider i mark, samt interaktioner mellan klimatfaktorer, appliceringstidpunkter och pesticidförluster från jordbruksmark.

### Medeltemperatur

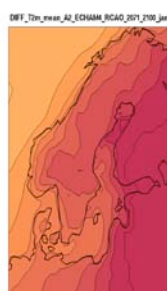
DIFF\_T2m\_mean  
RCAO1961-1990 CTL

jan

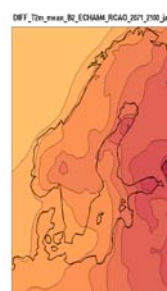


### Echam4

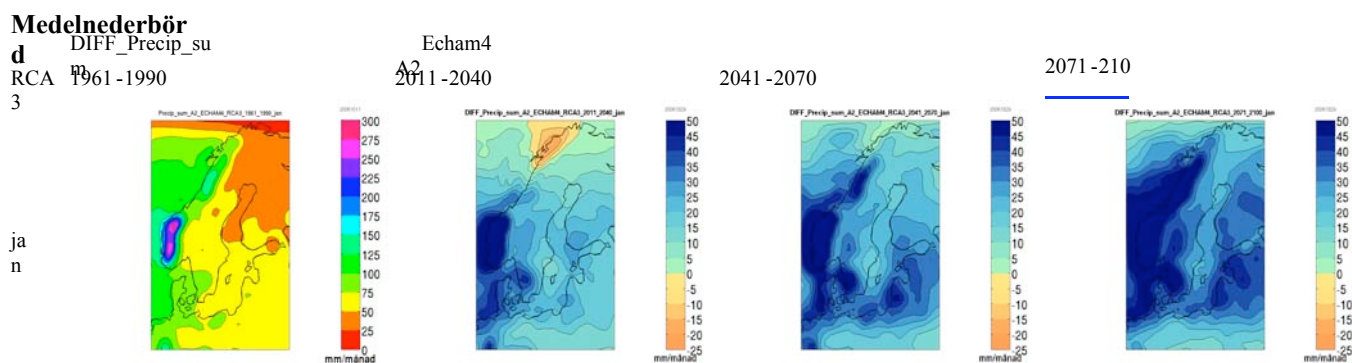
2071-2100 A2



2071-2100 B2



**Figur 1.** Medeltemperatur *januari* 1961-1990, samt beräknad ökning i medeltemperatur fram till slutet av 2000-talet (2071-2100), enligt SMHI:s regionala klimatscenarier för Sverige, baserat på GCM-modellen ECHAM4 och IPCC:s utsläppsscenario A2 respektive B2 (Data från Rossby Center-SMHI).



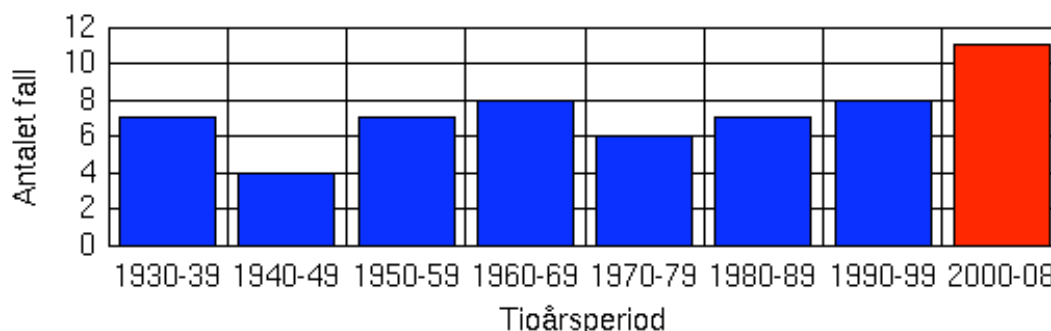
**Figur 2.** Medelnederbörd *januari* (1961-1990), samt beräknad ökning i medelnederbörd under 2000-talet (uppdelat på 30-års perioder), enligt SMHI:s regionala klimatscenarier för Sverige, baserat på IPCC:s utsläppsscenario A2, samt GCM-modellen ECHAM4. (Data från Rossby Center-SMHI).

## FAKTORER OCH MÖJLIGA EFFEKTER

### *Effekter av förändringar i nederbörd och temperatur*

Risken för pesticidutlakning beror – förutom av substansens specifika egenskaper – av ett komplext samspel mellan olika faktorer och processer som påverkar substansens *persistens* (t ex marktemperatur, markfuktighet), *sorption* i marken (t ex markens halt av organiskt material och ler), och *transport* (t ex avrinningsmönster som i sin tur styrs av nederbördsmonster och markfysikaliska egenskaper). Alla dessa faktorer och processer kommer att påverkas av en klimatförändring:

- De svenska klimatscenarierna indikerar förändrade nederbördsmonster och accentuerade extremvärden. Högre nederbördsintensitet leder till ökad avrinning via makroporer vilket i sin tur ökar risken för tillfällena med omfattande pesticidutlakning (Edwards et al. 1992; Beulke et al., 1999 & 2007). Resultat från Lewan et al. (2009) visar: (i) att totalnederbörden under vintern har stor betydelse för totalförlusten av bekämpningsmedel, och (ii) att max-förluster och max-koncentrationer i dräneringsvattnet (som medför hög ekotoxikologisk risk) har starkt samband med intensiva nederbördstillfällen kort efter spridningstidpunkt. Klimatförändringen kommer sannolikt medföra både högre totalnederbörd (särskilt i västra Sverige och under vinterhalvåret, **Figur 2**) och högre frekvens av intensiva nederbördstillfällen (**Figur 3**). Högre nederbördsintensiteter kan även resultera i ökad ytavrinning, vilket ökar risken för pesticidtransport från jordbruksmark via ytavrinning/ytarosion (Beulke et al., 2007).



**Figur 3.** Antalet fall per tioårsperiod sedan 1930 i Sverige med extrem nederbörd. För att räknas krävs minst 90 mm över arean 1000 km<sup>2</sup> under 24 timmar. Det senaste decenniet är ännu inte komplett, då värden för 2009 saknas. Figur hämtad från SMHI, 2009b.

- Den direkta effekten av högre och intensivare nederbörd kan delvis komma att motverkas av högre nedbrytningshastighet av pesticider till följd av en temperaturhöjning och därmed ökade marktemperaturer. Det är inte klarlagt i vilken grad dessa förändringar kommer att ta ut varandra, och nedbrytningshastigheten påverkas även av variationer och förändringar i markfuktighet. Nettoeffekten kan sannolikt bli olika i olika regioner, på olika typer av jordar och för olika substanser. Enligt vissa scenarier kommer försommartorkan att accentueras i delar av östra Sverige (typområde E 21). Detta kan medföra fördröjd nedbrytning och därmed ökade resthalter i marken vid avrinningens start under hösten.
- Utlakningsrisken är starkt beroende av markens adsorptionskapacitet för organiska ämnen, vilken beror av halten organiskt bundet kol. Även små förändringar i markens kolhalt kan ha en signifikant effekt på risken för utlakning av pesticider. Klimatförändringen kan medföra högre skördar och större mängd skörderester och därmed ökad tillförsel av organiskt material vilket ökar halten organiskt kol. Effekten kan emellertid motverkas/kompenseras av ökad nedbrytningshastighet av organiskt material på grund av gynnsammare markklimat (Andrén et al., 2004; Andrén et al., 2008). Även här kan nettoeffekten av klimatförändringen på markens kolhalt bli olika i olika regioner beroende på regionala skillnader i hur klimatet förändras, samt skillnader i dominerande jordarter och grödor.

Vid SLU pågår både forskning och fortlöpande miljöanalys med fokus på hur markens kolhalt påverkas av klimat, olika grödor och skördenivåer. Samspelet mellan förändringar i klimatfaktorer, markens kolhalt och risken för utlakning av pesticider är komplext. För att belysa detta krävs processbaserade modeller som inkluderar samspelet mellan olika faktorer (t ex MACRO, Larsbo et al, 2005). Betydelsen av förändringar i temperatur och fuktighet för utlakning av pesticider i olika svenska jordbruksregioner kommer att belysas inom nystartade forskningsprojekt vid SLU. Likaså pågår forskning i syfte att ta fram ett bättre underlag kring förväntade skördenivåer baserat på de klimatscenarier som finns för Sverige.

## ***Effekter av förändrade spridningstidpunkter av bekämpningsmedel***

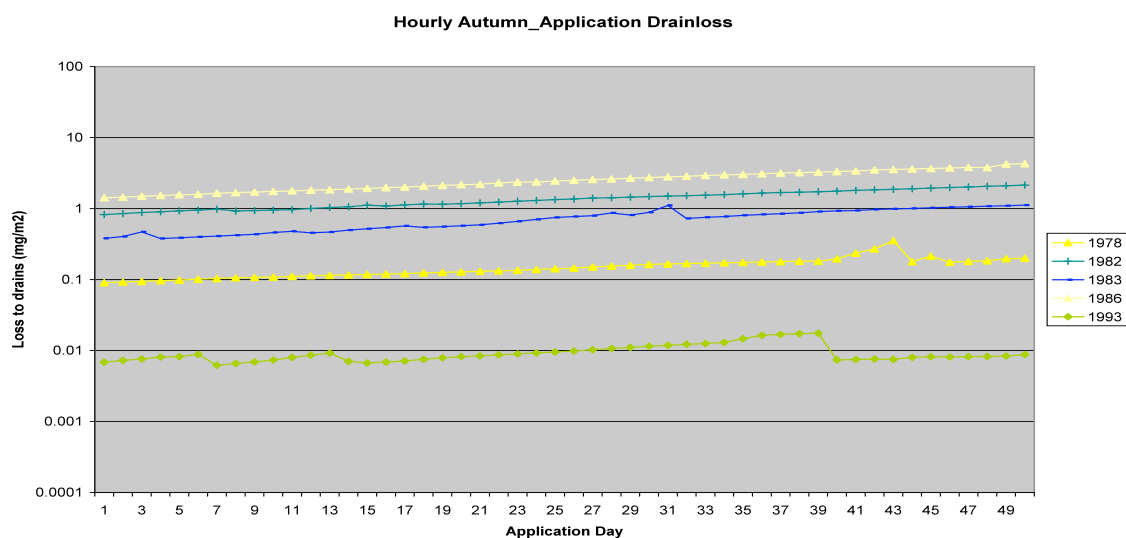
- En klimatförändring medför sannolikt förändrade appliceringstidpunkter för pesticider. Varmare vårar resulterar i tidigare spridning av pesticider vilket kan leda till både minskade eller ökade pesticidförluster beroende på markfuktighets- och nederbördsförhållanden. Tidigare vårspridning ger längre tid för pesticidnedbrytning innan starten för avrinningsperioden under höst-vinter - vilket alltså kan medföra minskade totalförluster. Högre marktemperaturer under våren kan även gynna nedbrytningshastigheten. Ökad frekvens av intensiva nederbördstillfällen under våren kan emellertid öka risken för momentant höga pesticidkoncentrationer i dräneringsvattnet, liksom höga dygnsförluster. Torrare vårar och somrar (Eckersten et al., 2008) kan medföra långsammare nedbrytning av vår-applikerade pesticider i marken under växtsäsongen och därmed viss risk för ökade förluster i samband med avrinning senare under hösten.
- Enligt Eckersten et al. (2008), förväntas sensommar och tidig höst bli ”torrare” medan senhöst och vinter förväntas bli mer nederbördsrikt. Detta kan medföra viss förskjutning mot senare höstsådd för att undvika vattenbrist vid etablering. Lewan et al. (2009) visar att totalförlusten liksom koncentrationen i dräneringsvattnet efter höstspridning av en typisk herbicid på strukturerad lerjord i södra Sverige, primärt styrs av tiden för nedbrytning innan avrinningen startar samt vinternederbördens storlek. Senare spridningstidpunkter medför signifikant högre totalförluster och koncentrationer, vilket ytterligare accentueras om nederbörd och avrinning ökar (**Figur 4a**).
- Redan idag har man observerat en tendens mot senare spridningstidpunkter under hösten, vilket i kombination med ökande höstnederbörd medför ökad utlakningsrisk (Lewan et al., 2009; Beulke et al, 2007).

## ***Effekter av ändrad markanvändning, förändrade växtföljder och skadetryck, och introduktion av nya grödor.***

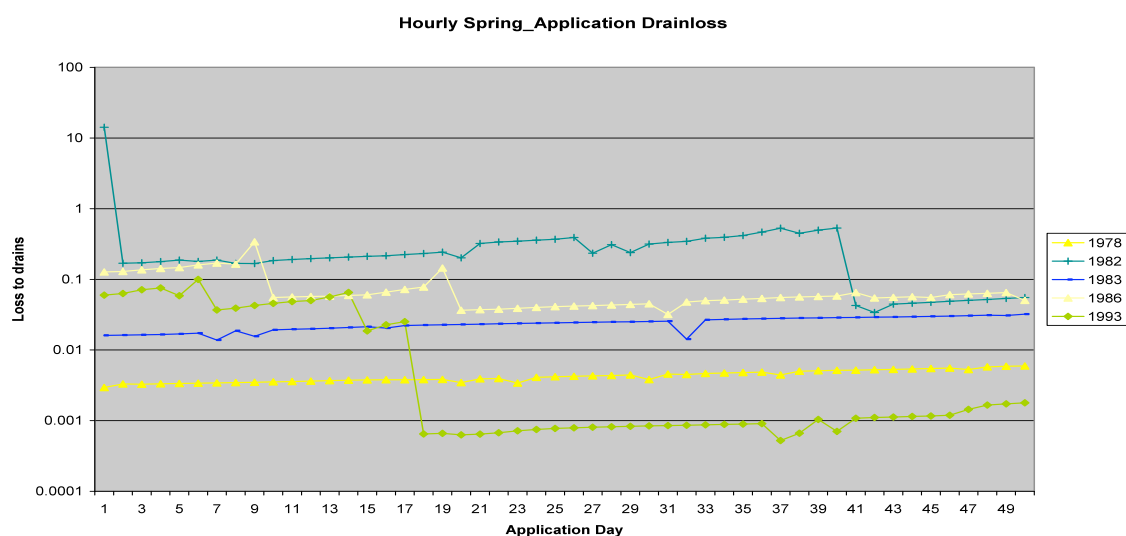
- Ökat tryck från skadegörare: Det är troligt att användningen av både insekticider och fungicider kommer att öka i betydelse i framtiden eftersom klimatet förväntas bli både fuktigare och varmare i många viktiga jordbruksregioner, vilket leder till att angreppen av olika typer av skadegörare ökar.
- Nya grödor: Klimatförändringen kan leda till att odlingen av ’nya’ grödor ökar där behovet av bekämpning är stort, t ex majs, vindruvor, och/eller ökad odling av trädgårdsväxter som generellt kräver mer bekämpning.
- Ändrad markanvändning/grödval: Klimatförändringen förväntas medföra minskad vallareal på grund av att vallodling delvis ersätts med odling av t ex fodermajs och/eller stråsäd, om odlingsgränsen förskjuts norr ut. Detta skulle medföra både ökat behov av ogräsbekämpning och bekämpning av skadegörare (Eckersten et al., 2008).



(a)



(b)



**Figur 4.** Total förlust via dräneringsvatten av typisk herbicid ( $\text{mg/m}^2$ ), för 50 spridningstidpunkter, under fem olika år: (a) Höstspridning; (b) Vårspridning. (Data från Lewan et al., 2009).

- Ökad andel höstsådda grödor: En förskjutning förväntas även ske från vårsådda grödor mot större areal höstsådda grödor (som ger högre avkastning och inkomst). Detta medför ökad höstspridning av pesticider och eventuellt även ökat behov av bekämpning.

Resultat från ett stort antal modellsimuleringar med hänsyn taget till möjliga spridningstidpunkter under höst respektive vår och 22 års klimatdata, visar att medianvärdet för totalförlusten av en typisk herbicid på strukturerad lerjord i Skåne ligger 1-2 tiopotenser högre vid höstspridning jämfört med vårspridning av pesticider (**Figur 4a och b**). En ökad areal höstgrödor som medför ökad höstspridning av bekämpningsmedel skulle alltså med stor

sannolikhet leda till en väsentlig ökning av pesticidutlakningen till såväl grundvatten som ytvatten.

Sverige har en rad unika förutsättningar vad gäller klimat och odlingsförutsättningar (t ex kombination av temperatur, dagslängd och strålningsförhållanden, jordarter och grundvattenförhållanden). Detta innebär att man inte direkt kan extrapolera rådande förhållanden inom andra delar av EU till hur det skulle kunna se ut i Sverige om ca 100 år när det gäller klimat, biogeofysikaliska förutsättningar, markanvändning och därtill kopplade risker för pesticidutlakning.

## MILJÖÖVERVAKNING – IDAG OCH IMORGON

För att bättre kunna bedöma och följa konsekvenserna av förändringar i svenskt klimat och jordbruk och dess inverkan på pesticiders förekomst vattenmiljön, finns ett behov av förändringar i det nuvarande övervakningsprogrammet för pesticider:

- Det är angeläget att inom miljöövervakningen av pesticider genomföra mätningar som omfattar högre tidsupplösning av såväl nederbörd som koncentrationer i dräneringsvatten, grundvatten och åvatten än vad som hittills gjorts, för att kunna identifiera den kvantitativa effekten av intensiva nederbördstillfällen för pesticidförluster i både fält- och avrinningsområdesskala.
- Det är även angeläget att etablera övervakningsprogram som omfattar mätningar under vinterhalvåret, eftersom höstspridning förmodligen kommer att öka i omfattning samtidigt som nederbörden under vintern förväntas öka.
- Det är också viktigt att inom miljöövervakningen täcka in olika jordbruks- och klimatregioner eftersom klimatförändringen kan få olika effekt i olika regioner. I och med att jordbrukssystemen flyttas successivt norrut kan det vara lämpligt att introducera ett nytt övervakningsområde längre norrut, t.ex. i Mälardalen. Övervakningen inom de befintliga typområdena kan komma att kräva ökade resurser framöver på grund av de förväntade förändringarna i grödor och växtföljder och därmed bekämpningsmedelsanvändningen.
- Övervakningsprogrammet måste kunna reagera snabbt och flexibelt också i framtiden genom att introducera analyser av nya substanser som kommer att användas i samband med att odlingen av nya grödor (t.ex. majs) ökar i omfattning samtidigt som skadetrycket ökar.
- Övervakningsprogrammet bör inkludera fler år som avvattnar större jordbruksområden (dvs utöver Skivarpsån och Vege å), för att kunna följa utvecklingen över större arealer. Likaså bör det ske en utveckling mot tätare provtagning i befintliga år.
- Övervakningsprogrammet bör överväga att utöka antalet lokaler för provtagning av grundvatten då ökad höstanvändning av pesticider ökar risken för läckage till grundvattnet.

## SAMMANFATTNING

Klimatförändringen kommer att påverka pesticidanvändningen och risken för utlakning av pesticider på flera sätt:

- Ökad nederbörd under höst och vinter medför en betydande risk för större utlakningsförluster av pesticider till yt- och grundvatten.
- Ökad frekvens av tillfällen med intensiv nederbörd under odlingssäsongen medför en betydande risk för ytaavrinning och även läckage till dräneringssystemen med förhöjda max-koncentrationer i omgivande ytvatten.
- En temperaturhöjning kan leda till en generellt snabbare nedbrytning av pesticider vilket minskar risken för utlakning av pesticider. Betydelsen av detta minskar dock i områden som drabbas av torka, vilket leder till en fördröjd nedbrytning (ökad persistens).
- Förändringar i markens kolhalt har stor betydelse för utlakningsrisken för pesticider. Samspelet mellan förändringar i klimatfaktorer, markens kolhalt och risken för pesticidutlakning är dock komplext och betydelsen av detta är därför svår att förutse.
- En klimatförändring medför sannolikt att spridningstidpunkten för pesticider börjar tidigare på våren, men också att den kommer att ske senare på hösten. Tidigare vårspridning kan ha gynnsam effekt och leda till mindre utlakning, men sena höstappliceringar medför en kraftigt ökad risk för utlakning av pesticider till yt- och grundvatten.
- Ett varmare och fuktigare klimat leder till ett ökat tryck från olika typer av skadegörare vilket medför ett ökat behov av att använda pesticider.
- Odling av nya grödor som tidigare inte odlats i Sverige kan förväntas öka till följd av ett varmare klimat.
- En minskad vallareal och en ökad areal annuella grödor medför sannolikt ett ökat behov av bekämpning.
- En klimatförändring kommer troligen att leda till en förskjutning mot större areal höstsådda grödor. Detta medför ökad höstspridning av pesticider vilket medför generellt högre pesticidutlakning än vid vårspridning.

## REFERENSER

- Andrén, O., Kätterer, T., Karlsson, T. 2004. ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70, 231-239.
- Andrén, O., Kätterer, T., Karlsson, T., Eriksson, J. 2008. Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990–2004, with preliminary projections. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81, 129-144.
- Beulke, S., Brown, C.D., Fryer, C.J. 1999. Lysimeter study to investigate the effect of rainfall patterns on pesticide leaching. In: A. Del Re, C. Brown, E. Capri, G. Errera, S. Evans, M.

- Trevisan, eds., *Human and environmental exposure to Xenobiotics*, Proc. XI Symposium Pesticide Chemistry, Sept. 1999, Cremona, Italy, pp. 143-152.
- Beulke, S., Boxall, A.B.A., Brown, C.D., Thomas, M., Falloon, P. 2007. Impact of climate change on pesticide transport to groundwater and surface water. In: A. Del Re, G. Capri and M. Trevisan, eds., *Environmental Fate and Ecological Effects of Pesticides*, Proc. XIII Symposium Pesticide Chemistry, 2007, Piacenza, Italy, pp. 444-451.
- Bloomfield, J.P., Williams, R.J., Gooddy, D.D., Cape, J.N., Guha, P. 2006. Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater – a UK perspective. *Science of the Total Environment*, 369, 163 – 177.
- Eckersten H, Andersson L, Holstein F, Mannerstedt Fogelfors B, Lewan E, Sigvald R, Torssell B., Karlsson, S. 2008. *Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige*. Rapport 6. Inst Växtproduktionsekologi, SLU (145 pp). *Expertunderlag till Klimat- och Sårbarhetsutredningen (SOU) 2007*.
- Edwards, W., Shipitalo, M., Dick, W., Owens, L. 1992. Rainfall intensity affects transport of water and chemicals through macropores in no-till soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 52-58.
- Larsbo, M., Roulier, S., Stenemo, F., Kasteel, R., Jarvis, N.J., 2005. An improved dual-permeability model of water flow and solute transport in the vadose zone. *Vadose Zone Journal*, 4, 398-406.
- Lewan E., Kreuger, J., Jarvis, N. 2009. Implications of precipitation patterns and soil moisture for leaching of pesticides from arable land (*Accepted for publication in Agric. Water Management*).
- Lindström, G., Alexandersson, H. 2004. Recent Mild and Wet Years in Relation to Long Observation Records and Future Climate Change in Sweden. *Ambio*, 33, 4-5, 183-186.
- Rummukainen M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J., Tjernström, M. 2004. The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A review. *Ambio* 33, 4-5, 176-182.
- SMHI. 2009a. Årsmedeltemperatur och dess avvikelse från perioden 1961-1990. [www.smhi.se](http://www.smhi.se) (se Klimat/Klimatindikatorer och observationer//Klimatindikatorer/Temperatur, uppdaterad 2009-03-30).
- SMHI. 2009b. Extrem nederbörd. [www.smhi.se](http://www.smhi.se) (se Klimat/Klimatindikatorer och observationer//Klimatindikatorer/Extrem nederbörd, uppdaterad 2009-03-30).